

DEM VERSCHLEISS DIE ZÄHNE ZEIGEN

Zahnradpumpen können für einen sehr weiten Viskositätsbereich eingesetzt werden: Sowohl niedrigviskose Lösungsmittel mit Viskositäten < 1 mPas als auch hochviskose Polymerschmelzen mit mehreren Zehntausend Pas fördern sie zuverlässig.

TEXT: Holger Kremer, Witte Pumps & Technology FOTOS: Witte

Ein niedrigviskoses Hochtemperaturpolymer soll aus dem Reaktor ausgetragen und den folgenden Prozessschritten zur Weiterverarbeitung zugeführt werden. Für einen zuverlässigen Prozessbetrieb muss die dafür erforderliche Pumpe konstant einen Druck von 35, besser noch 40 bar aufbauen. Mit handelsüblichen Zahnradpumpen ist diese Anwendung nur unzureichend zu lösen, gilt es doch, mehrere prinzipbedingte Probleme gleichzeitig zu lösen. Mit sinkender Viskosität und ansteigendem Differenzdruck steigen auch die pumpeninternen Verlustströme zwischen Gehäuse, Gleitlagern und Zahnrädern an; die Pumpenkennlinie fällt zunehmend steiler ab. Hohe Betriebstemperaturen verstärken aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten der einzelnen Komponenten diesen Effekt noch. Da die Schmierfilmstärke proportional zur Viskosität ist, ist insbesondere bei niedrigviskosen Medien für einen zuverlässigen Betrieb unbedingt auf die Ausbildung eines tragfähigen hydrodynamischen Schmierfilms zu achten. Andernfalls führt der Dauerbetrieb im Mischreibungsbereich zu starkem Verschleiß an Gleitlagern und Zahnrädern.

Bei den bisher eingesetzten, handelsüblichen Zahnradpumpen kam es exakt zu den bereits zuvor erläuterten Problemen mit den entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Produktion. Für einen sicheren und verschleißarmen Betrieb dürfen die Gleitlager nicht im Mischreibungsbereich betrieben werden. Die Stärke und die Tragfähigkeit des hydrodynamischen Schmierfilms wird im Wesentlichen durch die Viskosi-

tät, die Spiele und die Drehzahl bestimmt. Da, wie in diesem Fall, bei sehr niedrigviskosen Medien die Schichtdicke des Schmierfilms oft nur wenige μm beträgt, eignet sich Siliziumkarbid (SiC) aufgrund der sehr geringen Oberflächenrauigkeit besonders für diese Art von Anwendungen. Hinzu kommt, dass es als sehr guter Wärmeleiter dient, so dass die in den Lagern entstehende Reibungswärme effektiv abgeleitet werden kann. Im Gegensatz dazu neigt Zirkonoxid, bedingt durch die sehr schlechten Wärmeleiteigenschaften, zu thermischen Spannungsrissen bei Überlastung.

Spezielles Material für weniger Reibung und Verschleiß

Die Zahnräder werden aus dem martensitischen Chromstahl 1.4112 gefertigt. Um den Verschleißschutz zu erhöhen, werden die Zahnräder zusätzlich mit einer keramischen Beschichtung versehen. Ähnlich wie bei den SiC-Gleitlagern erfolgt die Beschichtung vornehmlich aufgrund der großen (Oberflächen-)Härte und der niedrigen Reibungsbeiwerte. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass es sich bei der Kombination aus SiC-Gleitlagern und keramikbeschichteten Wellen um eine sehr reibungs- und verschleißarme Werkstoffpaarung handelt.

Der Wirkungsgradproblematik wurde mit einer Vielzahl von effektiven Einzelmaßnahmen begegnet. Auch wenn Gleitlager aus SiC hinsichtlich der Schmierfilmproblematik und der



Zahnradpumpe mit
Getriebemotor.

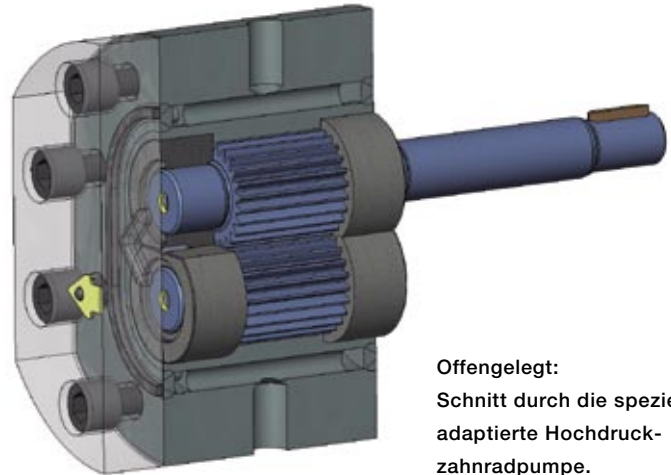
Verschleißfestigkeit als erste Wahl gelten, hat dieser Werkstoff Nachteile bezüglich der Wärmeausdehnung. Da die Pumpe bei einer Temperatur von 200 bis 220 °C betrieben wird, ist dies ein nicht zu vernachlässigender Aspekt bei der Auslegung und der Konstruktion. Während SiC einen Wärmeausdehnungskoeffizient von lediglich $3,5 \cdot 10^{-6}$ mm/mm·K besitzt, beträgt dieser bei Lagerbronzen $13,6 \cdot 10^{-6}$ mm/mm·K (der k-Wert kann für die einzelnen Bronzen geringfügig abweichen). Ein Vergleich mit den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Wellenwerkstoffs 1.4112 ($k=10,8 \cdot 10^{-6}$ mm/mm·K) und des Gehäuses aus 1.4313 ($k=11,0 \cdot 10^{-6}$ mm/mm·K) verdeutlicht die Problematik. Während das axiale Montagespiel zwischen Gehäuse, Gleitlagern und Zahnrädern mit einem Wert von circa 30 µm noch sehr klein ist, wächst es bei einer Betriebstemperatur von 220 °C auf einen Wert von 100 µm an. Führt man sich nun vor Augen, dass die axialen Rückstromverluste etwa 70 Prozent der gesamten Verlustströme in einer Zahnradpumpe ausmachen, wird die Bedeutung des Axialspiels im Betrieb schnell bewusst.

Für diese Beispielrechnung wurde schon der Gehäusewerkstoff 1.4313 berücksichtigt; bei dem üblicherweise eingesetzten austenitischen Edelstahl 1.4571 würde das Axialspiel, bedingt durch einen k-Wert von $k=17,5 \cdot 10^{-6}$ mm/mm·K sogar auf einen Wert von 200 µm anwachsen. Da aber selbst ein Axialspiel von „nur“ 100 µm noch verhältnismäßig groß ist und einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den volumetrischen Wirkungsgrad hat, wurde neben der Werkstoffauswahl auch die konstruktive Ausführung der Pumpe für diese spezielle Anwendung optimal angepasst.

Ein genauerer Blick auf die Funktionsweise von Zahnradpumpen erklärt die konstruktive Anpassung anschaulich. Die Gleitlager werden durch einen Eilstrom des Fördermediums geschmiert. Die treibende Kraft für diesen Lagerschmierstrom ist

der von der Pumpe selbst aufgebaute Druck. In gleicher Weise, wie das Schmiermedium durch die Gleitlager gedrückt wird, werden aber auch die Gleitlager in Richtung der Pumpendeckel nach außen geschoben. Da nicht mit negativem Axialspiel montiert werden kann, ergibt sich bei klassischen Zahnradpumpen zwangsweise bei einer Betriebstemperatur von 220 °C ein großes Axialspiel. Gelöst wurde dieses Problem dadurch, dass die Richtung des Lagerschmierstroms einfach umgekehrt wurde. Dadurch, dass der Bereich hinter den Gleitlagern nicht mit der Saug-, sondern mit der Druckseite verbunden wurde, werden die Gleitlager nun von außen nach innen durchströmt. Oberflächlich betrachtet wirkt sich dies natürlich auf den Wirkungsgrad der Pumpe aus; dieser vermeintliche Nachteil bewirkt aber auch, dass die Lager eng an die Zahnräder gedrückt werden. Wie bereits zuvor beschrieben, ist die Wärmeausdehnung von Gehäuse und Zahnrädern nahezu identisch. Dieses Maß ist also näherungsweise als temperaturunabhängig zu betrachten. Die Lager selbst werden im Gehäuse in Richtung der Zahnräder verschoben, so dass das Axialspiel bei der Montage fast gar nicht vom Betriebsspiel bei 220 °C abweicht. Um zu verhindern, dass die Gleitlager direkt auf die Zahnräder gedrückt werden und diese blockieren, ist der Außendurchmesser der Gleitlager größer ausgeführt. Die Gleitlager werden dadurch im Gehäuseerezess fixiert, so dass ein gleichbleibend geringes Axialspiel zwischen Gleitlagern und Zahnrädern stets gewährleistet ist.

Um die Lagerbelastung im Betrieb zu reduzieren, wurde außerdem die Zahnradbreite verringert. Zwar nimmt durch diese Maßnahme auch das spezifische Fördervolumen ab, auf der anderen Seite wird dadurch aber auch die Lagerbelastung merklich reduziert. Dies wiederum wirkt sich insbesondere bei niedrigviskosen und schlechtschmierenden Fördermedien auf die Lebensdauer von Gleitlagern und Wellen aus.



Offengelegt:
Schnitt durch die speziell
adaptierte Hochdruck-
zahnradpumpe.

Ergänzend wurde abweichend von der Standardverzahnung die spezielle Hochdruckverzahnung eingesetzt. Anstelle der sonst üblichen zwölf besitzt die Hochdruckverzahnung 24 Zähne. Die größere Zahnanzahl hat zur Folge, dass die Zahl der im Gehäuse zwischen Druck- und Saugseite abdichtenden Zähne von 7 auf 14 ansteigt.

Kleinere Zähne, geringere Kosten

Durch den Wechsel der Verzahnung lässt sich der Wirkungsgrad merklich verbessern. Allerdings verringert sich bei gleichem Achsabstand und gleicher Zahnradbreite das spezifische Fördervolumen. Aufgrund der Evolventenverzahnung, also der vorgegebenen Zahnform, und der Zähnezahl wird auch das Volumen der Zahnzwischenräume kleiner. Damit die spezifische Fördermenge konstant bleibt, müssen folglich die Zahnräder insgesamt größer werden. Der Vorteil, der sich aus diesen geometrischen Unterschieden ergibt: Es entsteht eine größere axiale Dichtfläche zwischen den Zähnen und den Lagern. Dies begründet sich auf dem deutlich größeren Fußkreisdurchmesser der Hochdruckverzahnung.

Die Erfahrungen aus dem Betrieb haben die Vorteile dieser speziell adaptierten Zahnradpumpe untermauert. Zuvor eingesetzte Standardzahnradpumpen eines Wettbewerbers waren durchschnittlich nach einer Laufzeit von einem Monat verschlissen. Die verschleißbedingten Reparaturkosten haben etwa 3.000 Euro pro Monat betragen. Allein die Tatsache, dass die neue Spezial-Zahnradpumpe für einen Zeitraum von über drei Monaten zuverlässig betrieben wurde, belegt den Erfolg dieser Konstruktion. Aber nicht nur bezüglich der Zuverlässigkeit konnte eine signifikante Verbesserung erzielt werden. Während zuvor nie die spezifizierten Betriebsmengen und

-drücke erreicht wurden, hat die speziell angepasste Zahnradpumpe die geforderten Leistungsparameter sogar noch weit übertroffen. □

> MORE@CLICK PAK6921920



A Gardner Denver Company

RELATIVIEREN SIE IHREN ENERGIEVERBRAUCH!

Die hocheffizienten Kompressoren von CompAir komprimieren nicht nur Luft, sondern auch:

- Ihre Energiekosten
- Ihre Wartungskosten
- Den Geräuschpegel
- Den Raumbedarf
- Die CO₂-Umweltbelastung

E=mc²



CompAir Drucklufttechnik · marketing.simmern@compair.com · www.compair.de